

KARAKTERISTIK PEDOLOGI DAN PENGELOLAAN REVEGETASI LAHAN BEKAS TAMBANG NIKEL: STUDI KASUS LAHAN BEKAS TAMBANG NIKEL POMALAA, SULAWESI TENGGARA

Pedological Characteristics And Revegetation Management Of Nickel Post Mining Land: Case Study Of Nickel Post Mining Land At Pomalaa, South East Sulawesi

Widiatmaka^{1)*}, Suwarno¹⁾, Nandi Kusmaryandi²⁾

¹⁾Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB, Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

²⁾Departemen Konservasi Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ABSTRACT

Post-mining land management needs to be done by taking into account a holistic approach concerning the improvement of physical, chemical and biological properties of soil as growth media, in order to support the rehabilitation plans. The objective of this study were: (i) to conduct quantitative and comprehensive an inventory of pedological properties of nickel post mining land, (ii) to analyze the potential and limitations of post mined land, (iii) act designed environmental management, based on the characteristics of the revegetation of the land and the environment. The results showed that the soil in Pomalaa could be classified in Typic Hapludox, clayey, mixed, isohypertermic (P1) dan Typic Hapludalfs, loamy, mixed, isohypertermic (P2), while the material in ex mining area are overburden or parent material. The soil has developed from peridotite and peridotite-serpentine ultramafic material. This soil has low natural fertility and require efforts to improve the physical properties. Ex-mining area has a high rate of erosion. Poor tree growth in revegetation area has been determined caused by a deficiency of Ca, Fe, Cu, or Mn. The possibility of Ni and Cr toxicity in plants needs to be further investigated. Local resources in the form of slag can be used for revegetation, especially converter slag. The results obtained from this study can be used to give the advice of post-nickel mining land management, based on land characteristics. A better management advice covers two issues, namely improvements of the management action actually implemented and improvements in technical rehabilitation.

Key-words: *Pedological processes, post nickel mining land, revegetation*

ABSTRAK

Pengelolaan lahan pasca-tambang perlu dilakukan dengan pendekatan holistik termasuk perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah sebagai media tumbuh untuk mendukung rencana rehabilitasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (i) melakukan inventarisasi karakteristik pedologi lahan bekas tambang nikel; (ii) menganalisis potensi dan keterbatasan lahan bekas tambang; (iii) mendisain tindak pengelolaan lingkungan revegetasi berdasarkan karakteristik lahan dan lingkungannya.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah-tanah di daerah virgin di lokasi bekas pertambangan nikel Pomalaa terklasifikasi dalam Typic Hapludox, berliat, campuran, isohipertermik dan Typic Hapludalfs, berlempung, campuran, isohipertermik. Tanah di lokasi bekas penambangannya sendiri merupakan overburden. Tanah virgin di Pomalaa telah mengalami pelapukan dan perkembangan yang cukup lanjut. Cadangan kesuburan alami, baik pada tanah daerah virgin maupun bekas tambang, rendah dan memiliki sifat fisik yang memerlukan perbaikan. Rendahnya kesuburan dicirikan oleh kadar bahan organik rendah, kadar P-tersedia sangat rendah, kapasitas tukar kation rendah. Kompleks basa-basa dicirikan oleh kadar Ca-dd sangat rendah, K-dd rendah, tetapi Mg-dd tinggi. Diantara unsur mikro, kadar Fe-tersedia dan Mn-tersedia tergolong cukup, sedangkan Zn-tersedia dan Cu-tersedia tergolong kurang. Hasil analisis unsur hara tanaman dalam daun mengindikasikan bahwa beberapa jenis tanaman yang pertumbuhannya kurang baik di lahan revegetasi disebabkan oleh defisiensi Ca, Fe, Cu, atau Mn. Berdasarkan karakteristik lahan dan hasil-hasil penelitian ini, disajikan saran-saran untuk revegetasi dan pengelolaan lahan pasca tambang nikel. Saran yang diberikan meliputi meliputi dua hal, yaitu saran perbaikan dalam hal manajemen dan pengelolaan lahan pasca tambang dan perbaikan dalam teknis rehabilitasi.

Kata kunci: Lahan bekas tambang nikel, proses pedologi, revegetasi

PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan usaha pemanfaatan sumber daya alam bahan galian yang menyebabkan teraduknya lahan yang disingkap, utamanya dalam sistem penambangan terbuka. Dalam penambangan terbuka, karena metodenya membuka lapisan atas tanah ketika penambangan bahan galian dilakukan, pengelolaan perlu direncanakan dengan baik agar lingkungan dan sumber daya alam lainnya tidak terganggu. Hal ini untuk mencegah lahan yang menjadi tandus dan miskin hara, rawan terhadap bahaya erosi dan hilangnya *plasma nutfah* pada lahan tersebut.

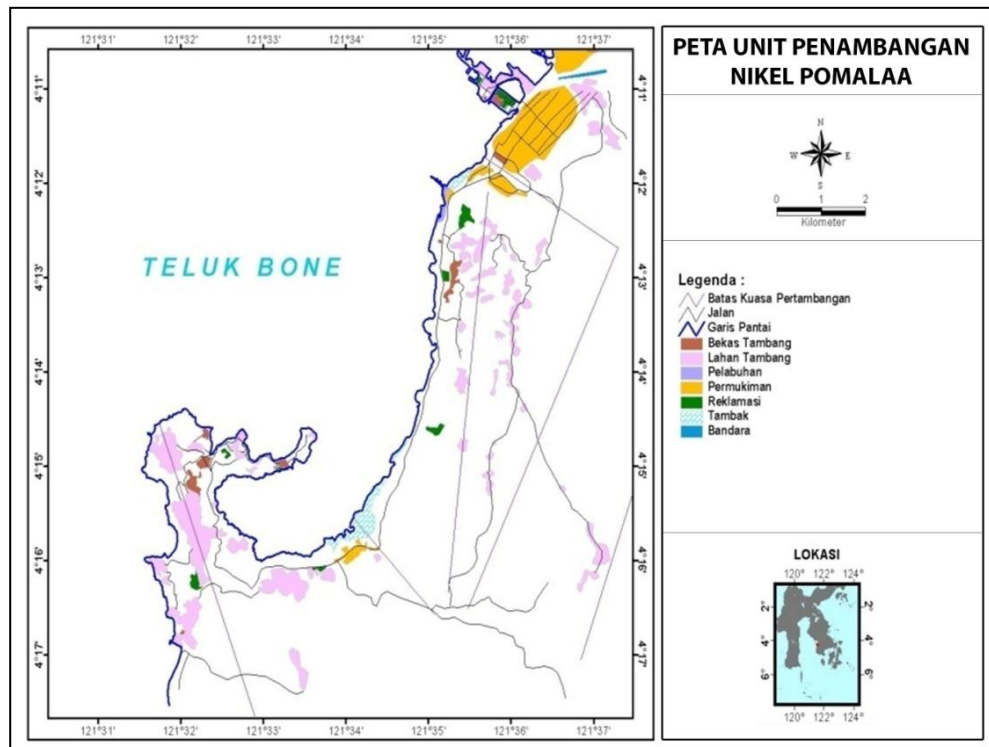
Pengelolaan secara baik lahan pasca-tambang merupakan salah satu kewajiban unit usaha pertambangan. Pengelolaan antara lain dapat berupa reklamasi dan penanaman kembali lahan sehingga tanah yang tersingkap dapat dihijaukan kembali. Usaha menghijaukan kembali (*revegetasi*) lahan bekas tambang tidak mudah. Upaya tersebut perlu dilakukan dengan perlakuan menyeluruh menyangkut perbaikan aspek fisik, kimia dan biologis dari media tumbuh yang dipakai agar tanaman penghijauan yang diintroduksi dapat beradaptasi dengan baik.

Penelitian ini bertujuan untuk (i) melakukan inventarisasi sifat pedologi lahan tambang nikel; (ii) menganalisis potensi dan keterbatasan lahan bekas tambang; (iii) mendisain tindak pengelolaan lingkungan *revegetasi* berdasarkan karakteristik lahan dan lingkungannya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di lokasi pertambangan nikel di Pomalaa, Sulawesi Tenggara (Gambar 1). Penelitian lapang meliputi pengamatan morfologi tanah dan pengambilan sampel yang meliputi sampel tanah profil, sampel tanah komposit, sampel mineralogi tanah, sampel fisika tanah, sampel tanaman dan sampel terak nikel (*slag*). Sampel tanah diambil pada tanah *virgin* (tidak ditambang) dan tanah bekas tambang, baik yang ditanami (*revegetasi*) maupun yang tanamannya tumbuh secara alamiah. Sampel dianalisis di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Laboratorium Fisika dan Konservasi Tanah dan Laboratorium Mineralogi Tanah, ketiganya di Fak. Pertanian, IPB dan di Laboratorium Pusat Penelitian Teknologi Mineral, Bandung. Secara keseluruhan, analisis dilakukan terhadap 3 profil (12 sampel), 40 sampel komposit, 6 sampel mineral fraksi pasir, 6 sampel mineral fraksi liat, 14 sampel fisika tanah, 10 sampel tanaman dan 4 sampel terak nikel. Dalam artikel ini hanya beberapa hasil utama disajikan.

Dari 3 profil tanah yang dibuat, 2 profil pertama, P1 dan P2 masing-masing berada di perbukitan yang belum ditambang, merupakan profil perwakilan tanah asli lokasi yang belum ditambang (*virgin*). Profil ketiga, P3 berada di bukit, pada lokasi bekas tambang.



Gambar 1. Lokasi penelitian

KONDISI WILAYAH PENELITIAN

Berdasarkan data stasiun meteorologi Pomalaa, lokasi studi memiliki curah hujan tahunan 1,853 mm tahun⁻¹, terdistribusi dalam 142 hari hujan. Tipe iklimnya dapat diklasifikasikan dalam Afa (Koppen, 1936) dengan tipe hujan B (Schmidt dan Fergusson, 1951). Suhu udara rata-rata 24.9°C. Kelembaban udara rata-rata tahunan relatif tinggi, 89.1%.

Berdasarkan Peta Geologi skala 1:250.000 (Rusmana *et al.*, 1993), secara geologis, lokasi terletak pada perbatasan antara formasi batuan *skis* dan batuan *ultrabasa*, terdiri atas batuan peridotit, serpentinit dan peridotit terserpentin. Bijih nikel yang terbentuk pada formasi ini termasuk jenis laterit nikel dan bijih nikel silikat (*garnierit* dan *krisopas*) yang terjadi akibat pelapukan dan pencucian batuan *ultrabasa peridotit* dan *serpentinit*.

Aktivitas penambangan sebagian besar dilakukan pada wilayah yang merupakan perbukitan, pada ketinggian 200 - 300 meter d.p.l. Kegiatan penambangan memberikan pengaruh signifikan terhadap topografi wilayah.

Aktivitas *revegetasi* telah dimulai, sejak 5 tahun sebelum penelitian dilakukan. Tanaman penghijauan yang digunakan meliputi Akasia daun kecil (*Acacia auriculiformis*); Akasia daun besar (*Acacia mangium*); Albisia (*Paraserianthes falcataria*); Tirotasi (*Terminalia* sp.); Kayu angin (*Casuarina* sp.); Angsana (*Pterocarpus indicus*); Gamal (*Gliricidia maculata*); Jambu mete (*Anacardium occidentale* L.); Lamtoro (*Leucaena leucocephala*); Johar (*Casia seamea*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah asli daerah Pomalaa berkembang dari bahan induk *ultrabasa peridotit* dan *peridotit-serpentinit*. Jenis tanah lain didapati dalam luas yang relatif kecil, berkembang dari bahan *aluvial*, terutama di daerah aliran Sungai Pesouha dan Sungai Huko-Huko.

Morfologi, Sifat Kimia dan Klasifikasi Tanah.

Hasil analisis laboratorium sampel profil disajikan pada Tabel 1. Morfologi tanah *virgin* dicirikan oleh warna horizon atas coklat gelap kemerahan (Gambar 2). Makin ke bawah, warna semakin merah. Warna merah disebabkan tingginya mineral *ferromagnesium* pada seluruh profil. Batas horizon baur, yang merupakan ciri tanah berkadar oksida tinggi. Di wilayah bekas tambang, ciri morfologi menunjukkan bahwa material tersebut bukan tanah, melainkan batuan terlapuk. Tanah di daerah *virgin* memiliki kadar bahan organik sedang pada lapisan atas dan rendah pada lapisan bawah. Basa-basa didominasi oleh Mg, sedang Ca, Na dan K tergolong rendah. Tanah di lokasi bekas tambang memiliki kadar unsur hara yang semuanya lebih rendah dibanding tanah daerah *virgin*. Berdasarkan sistem klasifikasi USDA (Soil Survey Staff, 2006), tanah di daerah *virgin* terklasifikasi kedalam *Typic Hapludox, berliat, campuran, isohipertermik* (P1) dan *Typic Hapludalfs, berlempung, campuran, isohipertermik* (P2), sedangkan di wilayah bekas tambang merupakan *overburden* atau batuan induk.

Tabel 1. Hasil analisis laboratorium contoh tanah profil

No.	Contoh	pH H ₂ O	pH KCl	C- org. %	N- total %	P-tersedia (ppm) ppm	II	Ca-dd	Mg-dd	K-dd	Na-dd	KTK	KB	Al	H	Pasir	Debu	Liat
Profil I																		
1	P1- I (0 - 12 cm)	6.20	5.30	2.75	0.16	tr	56.8	3.31	6.00	0.51	0.35	14.8	68.9	tr	0.04	17.4	38.4	44.1
2	P1- II (12 -38/40 cm)	6.30	5.30	0.99	0.08	0.4	19.6	0.49	5.33	0.18	0.26	14.2	44.1	tr	0.04	18.4	31.7	49.8
3	P1- III (38/40 - 135 cm)	6.70	5.50	0.70	0.05	tr	47.0	0.46	3.87	0.13	0.26	15.3	30.8	tr	0.04	16.0	23.4	60.6
4	P1- IV (135 - 194 cm)	6.20	5.30	0.92	0.05	tr	39.2	0.43	12.4	0.05	0.17	24.4	53.3	tr	0.08	26.3	30.9	42.7
5	P1- V (> 194 cm)	6.30	5.20	0.44	0.03	tr	73.5	0.74	14.8	0.03	0.13	28.9	54.1	tr	0.08	25.9	44.8	39.3
Profil II																		
6	P2- I (0 - 5 cm)	6.50	5.70	3.30	0.20	0.9	58.8	2.43	11.1	0.13	0.09	19.6	70.2	tr	0.04	27.6	39.6	32.8
7	P2- II (5 - 42 cm)	6.60	5.80	1.17	0.12	tr	58.8	1.18	11.9	0.10	0.09	19.3	68.7	tr	0.04	31.5	41.4	27.2
8	P2- III (42 - 65 cm)	6.60	5.60	0.70	0.03	0.5	44.1	2.53	21.5	0.03	0.04	36.9	65.3	tr	0.04	47.2	25.2	27.6
Profil III																		
9	PIII- (0-30 cm)	6.00	5.10	1.66	0.20	1.5	47.0	0.80	7.90	0.13	0.17	13.3	67.6	tr	0.04	8.48	44.5	45.9
10	PIII- (30-50 cm)	6.30	5.30	0.85	0.05	0.2	63.7	0.60	8.72	0.05	0.09	17.3	54.7	tr	0.04	9.34	35.6	55.0
11	PIII- (50 - 60 cm)	6.10	5.20	0.26	0.04	0.5	29.4	1.46	17.1	0.03	0.04	29.2	63.7	tr	0.08	24.3	57.1	18.6

tr: tidak terukur

Mineralogi Tanah. Mineral fraksi pasir (Tabel 2) terbagi dalam dua kelompok: (i) mineral sukar lapuk, meliputi *magnetit*, *konkresi besi*, *benda hancuran* dan *SiO₂-organik*; dan (ii) mineral mudah lapuk, meliputi *antigorit*, *polygarskit*, *prehnit*, *palagonit* dan *plagioklas*. Hampir seluruh mineral mudah lapuk merupakan mineral golongan *serpentin*. Mineral fraksi liat meliputi *haloisit*, *vermikulit*, *gibsit*, *muskovit* dan *goethit* (Tabel 2). Dari komposisi mineraloginya, diduga tanah *virgin* telah mengalami pelapukan dan perkembangan yang lanjut. Cadangan kesuburan alami tanah daerah *virgin* rendah. Pada daerah bekas tambang, mineral yang ditemukan relatif sama.



Gambar 2. Morfologi tanah

Pedogenesis. Hasil pengamatan tanah di lapang dan analisis kimia dan mineralogi di laboratorium (Tabel 1 dan 3) menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan akumulasi liat meskipun tidak terlalu jelas. Menurut Tavernier dan Eswaran (1972), setiap tingkat dalam proses pembentukan tanah dapat dikenali dari susunan mineral koloid sesuai dengan bahan induknya. Perkembangan tanah dapat dibedakan menjadi beberapa tingkat, mulai dari yang paling muda pada tingkat *entik*, tingkat *kambik*, tingkat *argilik* sampai ke yang paling tua tingkat *oksik* (dibagi lagi dalam sub-tingkat *haplik* dan *okrik*).

Melihat komposisi mineraloginya, diduga stadium pembentukan horizon *argilik* yang merupakan horizon penimbunan liat sudah terlewati. Meskipun demikian,

Tabel 3. Hasil analisis mineralogi fraksi liat

No.	Kode Lapang	Peak	Mineral Liat	Kuantitas
1	Lapisan permukaan (0 - 50 cm), lahan revegetasi	90 (-), 590 (+)	Haloisit	+++
		170 (-), 820 (+)	Vermikulit	++
		275 (-)	Gibsit	+
2	Bahan induk dipermukaan (30 - 50 cm), lahan bekas tambang	90 (+), 550 (+)	Haloisit	+++
		275 (-)	Gibsit	+
		785 (-)	Muskovit	+
3	Overburden di permukaan (0 - 50 cm), lahan bekas tambang	95 (+)	Haloisit	+++
		280 (+)	Gibsit	+
		172 (-)	Vermikulit	+++
		730 (-)	Muskovit	+
		590 (-)	Muskovit	+
4	Lapisan atas (0 - 50), lahan virgin	90 (+)	Haloisit	+
		315 (+)	Gaibsit	+++
5	Lapisan bawah (50 - 1000), lahan virgin	95 (+)	Haloisit	+
		165 (-)	Vermikulit	++
		280 (-)	Gibsit	+
		320 (-)	Goethit	+
6	Lapisan tengah (50 - 60 cm), tanah di lembah	112 (+)	Smektit	+
		295 (-)	Gibsit	+++

Keterangan:

Kuantitas: + : sedikit

++ : sedang

+++ : banyak

Peak - : Endotermal

+ : Eksotermal

pembentukan horizon oksik yang merupakan stadium lebih lanjut dari perkembangan tanah belum terjadi secara sempurna. Perkembangan tanahnya berada diantara stadium *argilik* dan *oksik*. Pembentukan horizon oksik yang dicirikan oleh nilai kapasitas tukar kation yang rendah ($< 16 \text{ me } 100\text{g}^{-1}$) (Soil Survey Staff, 2006) belum berlangsung sempurna. Horizon argilik dapat teridentifikasi dari selaput liatnya. Horizon *argilik*, terbentuk karena adanya proses *lessivage* atau proses *translokasi* liat secara mekanik, yaitu terangkut ke horizon bawah. Horizon *oksik* terbentuk karena proses laterisasi atau desilikasi. Secara teoritis, kedua proses tersebut terjadi di Pomalaa, didukung oleh curah hujan dan suhu yang tinggi.

Tabel 2. Hasil analisis mineralogi fraksi pasir

No.	Sampel	Jenis Mineral								
		Magnetit	Konkresi Besi	Lapukan	Kuarsa jernih	Si-organik	Antigorit	Polygars-kit	Prehnite	Pallagonit
1.	Lapisan permukaan (0 - 50 cm), lahan revegetasi	14	-	1	sd	-	8	70	4	3
2	Bahan induk di permukaan (30 - 50 cm), bekas tambang	5	10	73	-	-	1	4	1	6
3	Overburden di permukaan (0 - 50 cm), bekas tambang	30	15	12	sd	-	24	16	sd	3
4	Lapisan atas (0 - 50 cm), lahan virgin	67	1	-	4	-	25	-	1	2
5	Lapisan tengah (50 - 60 cm), tanah di lembah	37	10	9	44	sd	sd	-	-	-
6	Lapisan bawah (50 - 1000), lahan virgin	26	-	5	-	-	40	20	5	4

sd : sedikit

Pada tanah di daerah penelitian, pelapukan yang berjalan intensif menyebabkan sebagian besar mineral mudah lapuk terdekomposisi. Hal ini ditunjukkan oleh sedikitnya mineral mudah lapuk dan banyaknya mineral sukar lapuk dalam hasil analisis fraksi pasir. Mineral mudah lapuk yang ditemukan dalam analisis hanya mineral golongan serpentin yang memang merupakan mineral *autochtone* dari bahan induk, sehingga relatif mudah terbaharui.

Karena batuan induk *peridotit* dan *peridotit serpentin* pada dasarnya banyak mengandung mineral feromagnesium yang mudah lapuk, maka besi yang dibebaskan dari pelapukan tercuci keluar dari solum tanah, sehingga terjadi akumulasi relatif Fe_2O_3 dan Al_2O_3 . Tingginya suhu dan keadaan drainase yang baik serta curah hujan yang tinggi menyebabkan pencucian berjalan lancar. Keadaan ini menciptakan lingkungan yang baik untuk pembentukan mineral liat haloisit. Sementara itu, pelapukan mika yang berlanjut dalam lingkungan ini mendorong terbentuknya mineral liat vermikulit. Karena itu, mineral liat yang dijumpai pada tanah ini adalah campuran antara haloisit dan vermikulit.

Pelapukan lebih lanjut dari vermikulit dan haloisit yang terdekomposisi membentuk banyak mineral liat oksida dan hidroksida seperti goetit dan gibsit. Sebagian dari besi yang dibebaskan tersebut terakumulasi dalam bentuk konkresi yang banyak dijumpai pada penampang profil, sebagian lain belum membentuk mineral kristalin melainkan masih merupakan mineral amorf. Proses dan tahap pelapukan sebagaimana diuraikan menunjukkan terjadinya proses pelapukan yang membentuk tanah yang matang walaupun belum dapat dikatakan tua.

Berdasarkan sifat-sifat morfologi dan kimianya, Profil 1 dapat diklasifikasikan sampai tingkat famili sebagai *Typic Hapludox, berliat, campuran, isohipertermik*. Profil 2 dapat diklasifikasikan sampai tingkat famili sebagai *Typic Hapludalfs, berlempung, campuran, isohipertermik*. Sedangkan Profil 3 merupakan bahan induk tanah (horizon C).

Fisika Tanah. Tanah daerah *virgin* memiliki bobot isi lebih rendah daripada tanah daerah bekas tambang. Sifat fisika tanah secara umum (bobot isi, ketersediaan air, porositas, permeabilitas) menunjukkan bahwa tanah daerah *virgin* memiliki sifat fisik yang paling baik, diikuti oleh tanah daerah *revegetasi* dan tanah *overburden*. Karena daerah bekas tambang yang belum di-*revegetasi* sebagian besar merupakan *overburden*, upaya perbaikan terhadap sifat-sifat fisik tanah ini harus dilakukan.

Erosi. Daerah penelitian memiliki erosi yang relatif tinggi, dihitung menggunakan metoda USLE (Wischmeier dan Smith, 1978), menggunakan rumus:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

dimana:

A: Jumlah erosi dalam $\text{ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$; R: Faktor erosivitas hujan; K: Faktor erodibilitas tanah; LS: Faktor panjang

dan kemiringan lereng; C: Faktor tanaman (penggunaan tanah), dan P: Faktor teknik konservasi tanah

Perhitungan detil mengikuti metoda dari Arsyad (2000) dan Hardjowigeno dan Widiatmaka (2007). Hasil perhitungan (Tabel 4) menunjukkan bahwa: (i) untuk lokasi daerah *virgin*, terjadi erosi sebesar $0.70 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, dan tergolong *sangat ringan* sampai *ringan*; (ii) untuk lokasi yang vegetasinya telah ditebas kemudian dibiarkan (belum selesai ditambang kemudian ditinggalkan) dan dengan teras-teras bekas penambangan yang tidak sempurna bentuknya, terjadi erosi sebesar $213 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, dengan tingkat bahaya erosi tergolong *sangat berat*; (iii) lokasi tumpukan tanah bekas singkapan besarnya erosi adalah $293 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Untuk kasus ini, sebenarnya adanya erosi tidak berakibat apapun terhadap tanah di bawahnya, atau dengan kata lain dapat dikatakan *ringan*; Tetapi jika dilihat dari perspektif kehilangan tanah yang kemudian tidak dapat dimanfaatkan untuk keperluan *revegetasi* selanjutnya, maka erosi tersebut tergolong *berat*; (iv) erosi pada lahan yang telah di-*revegetasi* yang telah dilakukan tergolong *berat*, yaitu sebesar $226 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Hal ini berkaitan dengan masih belum cukupnya umur tanaman sehingga penutupan tajuk belum mencukupi; tidak ditutupnya lapisan bawah dengan tanaman pengaman (*cover crop*); dan sistem pengaman konservasi tanah belum diterapkan secara baik dan sempurna.

Tabel 4. Besarnya erosi, dihitung dengan metoda USLE

No.	Lokasi	R	K	LS	C	P	Erosi ($\text{ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$)
1	Tanah <i>virgin</i>	528	0.39	3.25	0.01	0.10	0.70
2	Bukit L, tanah bekas tambang di- <i>revegetasi</i>	528	0.31	3.25	1.00	0.40	213
3	Bukit TLB, tanah bekas tambang di- <i>revegetasi</i>	528	0.30	3.25	0.95	0.60	293
4	Bukit XII N, tanah bekas tambang, di <i>re-vegetasi</i>	528	0.33	3.25	1.00	0.40	226

Kesuburan Tanah. Tanah daerah *virgin* memiliki tingkat kesuburan aktual rendah, dicirikan oleh kadar bahan organik rendah, kadar P-tersedia sangat rendah, kapasitas tukar kation rendah. Kompleks basa-basa dicirikan oleh kadar Ca-dd sangat rendah, K-dd rendah, tetapi Mg-dd tinggi. Diantara unsur mikro, kadar Fe-tersedia dan Mn-tersedia tergolong cukup, sedangkan Zn-tersedia dan Cu-tersedia tergolong kurang (Tabel 5). Ketidak suburan tanah ini terlihat pula dari kondisi vegetasi di daerah bekas tambang yang relatif kecil, baik dalam hal volume maupun diameter. Pada tanah aslipun, bila akan dilakukan budidaya, penambahan bahan amelioran seperti pupuk mutlak dilakukan.

Pada tanah bekas tambang, tingginya Mg telah mengganggu kesetimbangan hara. Akibatnya, terstimulir kekurangan Ca dan K. Input-input yang ditambahkan ke dalam tanah dalam sistem potisasi pada kedua tempat telah meningkatkan Ca-dd, Mg-dd, dan KTK tanah; sedikit menaikkan pH tanah, tetapi menurunkan Fe tersedia dan tidak memperbaiki Cu.

Unsur Hara Tanaman. Hasil analisis tanaman yang diambil dari lahan *revegetasi* (kondisi pertumbuhan kurang baik) dan contoh yang diambil vegetasi alami (kondisi pertumbuhannya relatif bagus) disajikan pada Tabel 6. Pertumbuhan pohon yang jelek di lahan *revegetasi* disebabkan oleh defisiensi Ca, Fe, Cu, atau Mn. Pohon albisia mengalami defisiensi Ca, Fe, dan Cu; sedangkan pohon tirotasi, akasia daun besar (*Acacia mangium*), dan akasia daun kecil (*Acacia auriculiformis*) mengalami defisiensi Cu dan Mn. Dibandingkan dengan pohon jambu mete yang pertumbuhannya relatif bagus, pohon jambu mete yang pertumbuhannya jelek menderita defisiensi K, Fe, dan Cu. Selanjutnya bila dibandingkan dengan kadar N, P, K, Ca, dan Mg standar (Jones *et al.*, 1991), kadar P dan K dalam daun jambu mete yang pertumbuhannya bagus tersebut masih tergolong sangat rendah, tetapi kadar Mg-nya tergolong sangat tinggi. Nampaknya, karena adanya sifat antagonisme antara Mg dan K, tingginya kadar Mg dalam daun jambu mete, lebih-lebih pada pohon yang pertumbuhannya jelek, telah menstimulir terjadinya defisiensi K.

Logam Berat. Hasil analisis logam berat tanah disajikan pada Tabel 7. Pada tanah-tanah yang terbentuk dari bahan induk batuan beku basa atau ultra basa, diketahui sering terjadi kadar logam berat yang dapat mencapai kadar toksik bagi tanaman. Adanya toksisitas Ni dan Cr telah dilaporkan pada tanah yang terbentuk dari batuan serpentinit di wilayah yang disebut Great Serpentin

Belt di Wingham, Australia (Charman dan Murphy, 1991). Berdasarkan acuan penulis tersebut, batas toksisitas bagi tanaman untuk Ni adalah 100 ppm, untuk Cr adalah 20 ppm, untuk Cd adalah 1.50 ppm dan untuk Pb adalah 7 ppm. Jika hasil analisis pada penelitian ini dibandingkan dengan acuan tersebut, kemungkinan dapat terjadi toksisitas Ni dan Cr, sementara untuk Pb dan Cd, kadarnya masih relatif aman. Introduksi tanaman-tanaman dari luar perlu memperhitungkan hal ini.

Tabel 7. Kadar logam berat pada tanah

No.	Asal Lapangan	Ni	Cr	Cd	Pb
	ppm.....			
1.	Profil I, Lapisan 1 (0 - 12 cm)	265	26.8	0.08	1.44
2.	Profil I, Lapisan 4 (135 - 194 cm)	269	29.9	0.13	0.86
3.	Profil I, Lapisan 5 (> 194 cm)	270	24.6	0.19	tr
4.	K14- Bukit RST-(0 - 20 cm)	267	27.9	0.13	1.15
5.	K-15-Bukit RST-(0 - 30 cm)	265	19.1	0.17	1.15
6.	K-20-Bukit G-(0 - 30 cm)	272	22.4	0.10	tr
7.	K-37-Bukit XIIN-(0 - 30 cm)	271	18.4	0.25	0.57

tr: tidak terukur

Sumberdaya Lokal. Dalam proses pembuatan feronikel di Pomalaa, dihasilkan produk ikutan terak feronikel yang cukup banyak. Berdasarkan proses pembuatan feronikel, terak feronikel dibedakan atas terak tanur listrik (*electric furnace slag*) dan terak tanur pengubah (*converter slag*). Terak tanur listrik merupakan produk ikutan proses peleburan *ore* dengan metode tanur listrik, sedangkan terak tanur pengubah merupakan produk ikutan proses pemurnian feronikel dengan metode tanur pengubah. Komposisi kimia terak feronikel dari unit penambangan di Pomalaa serta terak baja dari Cilegon sebagai pembanding disajikan pada Tabel 8.

Tabel 6. Hasil analisis kadar hara daun tanaman

No.	Tutupan Lahan dan Pertumbuhan Vegetasi	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	%			ppm.....				
1	Albisia, pertumbuhan baik	2.15	0.12	0.20	0.55	0.45	973	6.10	7.30	153
2	Albisia, pertumbuhan sedang	1.61	0.14	0.35	0.10	0.67	240	2.50	21.3	107
3	Tirotasi, pertumbuhan alamiah	1.68	0.07	0.90	0.20	0.24	364	8.90	15.9	214
4	Tirotasi, penghijauan	2.47	0.05	0.80	0.25	0.32	280	4.60	15.8	57.7
5	Mete Baik	1.77	0.07	0.50	0.10	0.16	1620	8.90	17.0	248
6	Mete Jelek	1.72	0.07	0.33	0.58	0.27	696	4.30	12.6	205
7	Akasia Mangium Baik	2.39	0.11	0.25	0.15	0.21	447	11.2	22.4	327
8	Akasia Mangium Penghijauan	1.46	0.12	0.75	0.29	0.21	579	7.90	16.3	80.7
9	Akasia Auric. Bagus	2.41	0.09	0.55	0.20	0.16	258	8.80	19.7	105
10	Akasia Auriculiform Penghijauan	2.23	0.11	1.00	0.25	0.32	679	6.00	16.7	75.3

Tabel 8. Perbandingan komposisi kimia terak feronikel dan terak baja

Jenis Terak	Komposisi Kimia									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	S	P ₂ O ₅
(%).....									
Terak Feronikel:										
Terak Tanur Listrik	54.6	2.46	8.70	4.30	24.0	0.05	0.05	0.39	tr	0.11
Terak Tanur Pengubah			32.1	28.6	2.50	0.05	0.02	0.26	tr	0.14
Terak Baja:										
Terak Tanur Listrik*	14.6	7.21	42.6	21.6	11.6	0.18	0.33	1.55	0.28	0.37

tr : tidak terukur

*) dari Cilegon (Suwarno, 1998)

Dari dua jenis terak feronikel yang dianalisis, terak tanur listrik didominasi oleh Si dan Mg, sedangkan terak tanur pengubah didominasi oleh Fe, Ca, dan Si. Bila dibandingkan dengan terak baja, terak feronikel (terak tanur listrik) mengandung lebih banyak Si dan Mg, tetapi mengandung lebih sedikit Ca, Fe, P, dan Mn.

Terak dapat dimanfaatkan di bidang pertanian, baik sebagai bahan pengapuran pada tanah masam maupun sebagai pupuk silikat pada tanaman padi sawah atau tebu. Di antara terak-terak di atas, terak baja merupakan terak yang paling umum dimanfaatkan di bidang pertanian (Goto, 1987; Ota, 1979; Khalid *et al.*, 1978; Suwarno, 1998). Pemanfaatan suatu terak di bidang pertanian ditentukan oleh komposisi kimia serta reaksinya di dalam tanah. Unsur-unsur di dalam terak yang bermanfaat bagi bidang pertanian adalah P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, dan Si. Namun, karena Fe berada dalam bentuk oksida yang kelarutannya sangat rendah, maka unsur tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

Ditinjau dari komposisi kimianya, dari penelitian ini terlihat terak tanur listrik akan lebih efektif bila dimanfaatkan sebagai pupuk Si pada tanah-tanah yang mengandung Mg rendah. Sebaliknya, terak tanur pengubahnya akan lebih efektif bila dimanfaatkan sebagai bahan pengapuran pada tanah masam atau sebagai ameliorasi Ca pada tanah yang kekurangan Ca. Oleh sebab itu, dari kedua terak tersebut, *terak yang baik untuk bahan ameliorasi pada lahan yang di-revegetasi adalah terak tanur pengubah*. Penggunaan terak tanur listrik pada lahan tersebut *tidak disarankan* sebab dikhawatirkan akan lebih mendorong terjadinya defisiensi Ca dan K.

Pengelolaan Lahan dengan Revegetasi. Hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian karakterisasi lahan ini dapat digunakan menyusun saran pengelolaan melalui *revegetasi* lahan pasca tambang nikel. Pengelolaan yang lebih baik meliputi dua hal, yaitu perbaikan terhadap tindak pengelolaan yang telah dilaksanakan, dan perbaikan dalam hal teknis rehabilitasi. Terhadap tindak pengelolaan yang telah dilaksanakan, perlu dilakukan perbaikan dalam sistem penambangan. Dalam penambangan, penebasan dan pengupasan lahan hendaknya dilaksanakan dengan luas minimal dan secukupnya untuk membatasi gerak aktivitas peralatan tambang. Sistem pengupasan tanah perlu diintegrasikan dengan pencegahan bahaya erosi. Segera setelah teras terbentuk, dibuat saluran pembuangan agar air tidak menjadi aliran permukaan. Cara pertambangan yang berpindah-pindah perlu dihindari, sedapat mungkin menggunakan sistem penambangan habis per bukit.

Pembuatan tebing teras hendaknya tidak terlalu tinggi. Penimbunan tanah perlu dilakukan di tempat tertentu yang mudah diakses untuk dikembalikan, sehingga perlu penetapan lokasi penimbunan. Penanaman *cover-crop* untuk pencegahan erosi yang memang merupakan *standard operating procedure* pada reklamasi lahan tambang perlu dilakukan sedini mungkin segera setelah pengembalian tanah. Untuk keperluan *revegetasi*, unit penambangan perlu menyediakan kondisi persemaian yang memadai, disertai dengan jaminan ketersediaan bibit. Input yang perlu diberikan yang meliputi pupuk, bahan amelioran berupa bahan lokal liat hasil bersihan kapur dan *slag* maupun bahan-bahan introduksi, misalnya mikoriza.

Teknis rehabilitasi yang dapat dilakukan antara lain meliputi penanaman *cover crop*. Bila mungkin, diciptakan lingkungan tanah yang lebih baik terlebih dahulu untuk pertumbuhan tanaman dengan jalan mengurangi ketebalan lapisan atas yang berupa kerikil/kongresi dan disusul dengan penghancuran (*ripping*) lapisan tanah dengan *ripper* sehingga air dapat lebih mudah meresap, demikian pula dengan perkembangan akar. Untuk menghemat biaya maka pengolahan tanah ini dapat dilakukan dalam bentuk *strip* sehingga tidak seluruh areal diolah. Lebar *strip* misalnya 1 meter dan jarak antar strip 3 m. *Strip-strip* ini dibuat searah kontur. Selanjutnya, tanah hasil kupasan harus dikembalikan dan disebar di atas permukaan bekas tambang dengan ketebalan 20 - 30 cm. Hal ini kemudian diikuti pemberian pupuk, misalnya rock phosphate, SP, ZK atau KCl dan urea. Untuk meningkatkan kadar Ca tanah dan memperbaiki keseimbangan basa-basa, dapat ditambahkan tanah hasil pembersihan kapur atau serbuk terak tanur pengubah (*converter slag*) yang berukuran <2 mm, dengan dosis yang disesuaikan. Setelah itu dilakukan *rotary* sehingga pupuk dan terak tercampur dengan tanah, baru kemudian benih *cover-crop* disebar dan ditutup dengan lapisan tanah yang tipis. Di atas lapisan ini dapat disebar daun-daun sebagai lapisan mulsa. *Cover-crop* dipupuk setiap tahun selama 3 tahun, pupuk untuk tahun pertama adalah pupuk yang dicampur dengan tanah tersebut diatas. Untuk tahun kedua dan ketiga, *cover-crop* dipupuk urea, SP, dan KCl. Pemeliharaan selanjutnya dilakukan sesuai keadaan.

Untuk tanaman utama (pohon), penanaman dapat dilakukan dalam pot berukuran minimal 75 x 75 x 75 cm³ yang diisi dengan tanah hasil kupasan yang merupakan campuran dari *top-soil* dan *sub-soil*. Pemupukan pohon dilakukan terpisah. Lubang diisi dengan tanah yang dicampur dengan pupuk dan tanah hasil pembersihan kapur atau serbuk *converter slag*. Pemupukan dapat dilakukan

secara rutin menggunakan urea, TSP, KCl dan pupuk kandang. Pupuk mikro dapat diberikan dalam bentuk *pupuk daun* yang disemprot dua kali setahun dengan dosis sesuai petunjuk yang diberikan, khususnya pada *cover-crop*.

Tindakan konservasi tanah dan air perlu dilakukan untuk mengendalikan bahaya erosi. Untuk itu, dapat digunakan kombinasi antara metoda vegetatif dan metoda mekanik. Metoda vegetatif dapat dilakukan dengan *strip cropping*, sedang metoda mekanik dengan menyempurnakan teras yang terbentuk akibat penambangan dengan pembuatan guludan-guludan.

Sesuai dengan kondisi lokal, jenis tanaman untuk *revegetasi* lahan bekas tambang di wilayah penelitian ini adalah tirotasi, selain tanaman yang umum digunakan pada setiap reklamasi lahan tambang seperti albisia, akasia daun besar, akasia daun kecil, dan jambu mete yang memang terbukti tumbuh baik di lokasi ini. Lamtoro Gung dapat digunakan, sebaiknya ditanam disela-sela jenis tanaman tersebut di atas setelah tahun ketiga ke atas. *Cover crop* hendaknya dipilih jenis-jenis yang cepat menghasilkan bahan organik, dapat lebih efektif memanfaatkan potensi lingkungan yang ada termasuk pengikatan N dari udara. Jenis-jenis *Colopogonium* (terutama jenis tahunan) dan *Centrocema* dapat digunakan.

Penelitian-penelitian sederhana perlu dilakukan terutama untuk menemukan cara-cara pengolahan tanah dan bercocok tanam yang lebih efektif dan murah, serta dalam hal pembibitan jenis-jenis spesifik untuk daerah tersebut, dan lain-lain. Untuk waktu yang akan datang, hendaknya penyiapan lahan menjadi satu paket dengan kegiatan penambangan.

SIMPULAN

1. Tanah-tanah di daerah *virgin* di lokasi bekas pertambangan nikel Pomalaa terklasifikasi dalam *Typic Hapludox*, *berliat*, *campuran*, *isohipertermik* dan *Typic Hapludalfs*, *berlempung*, *campuran*, *isohipertermik*. Tanah di lokasi bekas penambangannya sendiri merupakan *overburden*.
2. Tanah *virgin* di Pomalaa telah mengalami pelapukan dan perkembangan yang cukup lanjut. Cadangan kesuburan alami, baik pada tanah daerah *virgin* maupun bekas tambang, rendah.
3. Tinjauan dari aspek fisika tanah secara umum (bobot isi, ketersediaan air, porositas, permeabilitas) menunjukkan bahwa tanah daerah *virgin* memiliki sifat fisik yang paling baik, diikuti oleh tanah daerah *revegetasi* dan tanah bekas tambang dan *overburden*.
4. Tanah daerah *virgin* memiliki *tingkat kesuburan aktual yang rendah*, dicirikan oleh kadar bahan organik rendah, kadar P-tersedia sangat rendah, kapasitas tukar kation rendah. Kompleks basa-basa dicirikan oleh kadar Ca-dd sangat rendah, K-dd rendah, tetapi Mg-dd tinggi. Diantara unsur mikro, kadar Fe-tersedia dan Mn-tersedia tergolong cukup, sedangkan Zn-tersedia dan Cu-tersedia tergolong kurang.
5. Hasil analisis unsur hara tanaman dalam daun mengindikasikan bahwa beberapa jenis tanaman yang

pertumbuhannya kurang baik di lahan *revegetasi* disebabkan oleh defisiensi Ca, Fe, Cu, atau Mn.

6. Berdasarkan karakteristik lahan dan hasil-hasil penelitian ini, disajikan saran-saran untuk *revegetasi* dan pengelolaan lahan pasca tambang nikel. Saran yang diberikan meliputi meliputi dua hal, yaitu saran perbaikan dalam hal manajemen dan pengelolaan lahan pasca tambang dan perbaikan dalam teknis rehabilitasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada PT Aneka Tambang, Tbk., yang telah membiayai penelitian ini, bekerjasama dengan Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, IPB.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor.
- Charman, P.E.V., and B.W. Murphy. 1991. *Soils, their Properties and Management. A Soil Conservation Handbook for New South Wales*. University Press, Sidney.
- Goto, I. 1987. Study on the effects of iron and steel slags on soil improvement [thesis]. University of Agriculture, Tokyo (Tidak dipublikasikan).
- Jones, J.B., Jr, B. Wolf and H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc. 213 pp.
- Hardjowigeno, S. dan Widiatmaka. 2007. *Evaluasi Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Gadjahmada University Press, Yogyakarta.
- Khalid, R.A., J.A. Silva, and R.L. Fox. 1978. Residual effects of calcium silicate in tropical soils: I. Fate of applied silicon during five years cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:89-94.
- Koppen, W. 1936. *Das Geographische System der Klimate*. Berlin, Gebr. Born-trager, Vol. 1 Part C of Koppen – Geiger, Handbuch der Klimatologie. 44 p.
- Ota, M. 1979. Manurial effect of slag. Seminar of Faculty of Agriculture, Bogor Agricultural University. March 28, 1979.
- Rusmana E., Sukido, D. Sukarna, E. Haryanto dan T.O. Simanjuntak. 1993. Peta Geologi Lembar Lasusua A – Kendari, Sulawesi, Skala 1 : 250.000., Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Schmidt, F.H. dan J.H.A. Ferguson. 1951. *Rainfall Types Based on Wet and Dry Period Ratios for Indonesia with Western New Guinea*. Verh. No. 42. Jawatan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.

Soil Survey Staff. 2006. *Keys to Soil Taxonomy*. Ed ke-10. US Department of Agriculture.

Suwarno. 1998. Utilization of Indonesian electric furnace slag in agriculture [thesis]. Universiy of Agriculture, Tokyo (Tidak dipublikasikan).

Tavernier, R. and H. Eswaran. 1972. Basic concepts of weathering and soil genesis in the humid tropics. Second Asean Soil Conf., 1:383 – 392.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Research Service, Washington DC. Agric. Handb., 537.